

BAYES OLASILIK TEOREMİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİ

Halil AKINCI¹, Ayşe YAVUZ ÖZALP², Mehmet ÖZALP³, Sebahat TEMUÇİN KILIÇER⁴,
Cem KILIÇOĞLU⁵, Emre EVERAN⁶

¹Yrd. Doç. Dr., Artvin Çoruh Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Seyitler, Artvin, hakinci@artvin.edu.tr

²Yrd. Doç. Dr., Artvin Çoruh Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Seyitler, Artvin, ayavuzozalp@artvin.edu.tr

³Yrd. Doç. Dr., Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 08100, Seyitler, Artvin, mozalp@artvin.edu.tr

⁴Arş. Gör., Artvin Çoruh Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Seyitler, Artvin, stemucin@artvin.edu.tr

⁵Öğr. Gör. Dr. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, Kavak, Samsun, cemk@omu.edu.tr

⁶Öğr. Gör., Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Meslek Yüksekokulu, 08100, Seyitler, Artvin, everan@artvin.edu.tr

ÖZET

Bayes Teoremi, bir olayın gerçekleşme olasılığı ile ilgili öncül olasılık beklentilerinin, olayın gerçekleşmesi durumunda elde edilen yeni bilgilerle güncelleştirilerek, soncul olasılıkların bulunmasını sağlayan bir olasılık teoremidir. Buna göre, bir bölgenin heyelan duyarlılığının tahmin edilmesi istendiğinde, bazı olası durumların belirlenmesi gerekir. Bunun için, seçilen çalışma alanında heyelan olayıyla ilgili şu durumların var olabileceği açıktır. Seçilen alan gerçekten heyelan alanı olabilir ve bu alanla ilgili iki tahmin (burada tekrar heyelan olacağı veya olmayacağı) yapılabilir. Seçilen alan, gerçekte heyelan alanı olmayabilir ve bu alan için de gelecekle ilgili iki tahmin söz konusudur. Bu durumları olasılık önermeleri şeklinde ifade etmek için koşullar kullanılır. Örneğin, seçilen alanın, geçmiş deneyimlere göre heyelan alanı olması durumunda, gelecekte de heyelan olma olasılığı $P(A|H)$ nedir? Seçilen alanın geçmiş deneyimlere göre heyelan alanı olmaması durumunda, gelecekte heyelan olma olasılığı $P(A|\text{not}H)$ nedir? Seçilen alanın geçmiş deneyimlere göre heyelan alanı olması durumunda, gelecekte heyelan olmama olasılığı $P(\text{not}A|H)$ nedir? Bu olasılıkları, olasılık aksiyomlarına uygun olarak birlikte değerlendirilerek soncul olasılık değerleri Bayes Teoremi ile hesaplanabilmektedir. Seçilen alanın gelecekte heyelanla karşılaşacağını öngören tahminler pozitif bir ağırlıkla, tersi ise negatif bir ağırlıkla ifade edilebilir. Bu yaklaşım “weights of evidence” model adı verilir. Bu çalışmada, söz konusu olasılık modeli kullanılarak Artvin ili Merkez ilçesinin heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Duyarlılık analizinde jeoloji, yükseklik, eğim, bakı, eğrilik (plan ve profil eğriliği), toprak derinliği, topografik nemlilik indeksi, arazi örtüsü, yola ve akarsuya yakınlık parametreleri kullanılmıştır. Üretilen duyarlılık haritası, “duyarsız, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı” alanlar olmak üzere 5 şekilde sınıflandırılmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için heyelan envanter haritasında yer alan ve kontrol amacıyla analizlere dahil edilmeyen heyelan alanları duyarlılık haritası ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, üretilen heyelan duyarlılık haritasının kontrol heyelanları ile %94.56 oranında uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: CBS, heyelan, bayes teoremi, duyarlılık haritası, Artvin.

ABSTRACT

PRODUCTION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS USING BAYESIAN PROBABILITY THEOREM

Bayesian theorem is a probability model which provides posterior probabilities of an event by updating the prior probabilistic expectations of that event. According to this definition, when the risk of any landslide event is desired to be found, some probable situations must be defined accordingly. Suppose that a field is chosen for the landslide risk assessment, and then two distinct situations may exist. The chosen field may actually be a landslide region or not a landslide region based on the past experiences. For each of these two distinct cases one may propose only two independent guesses. These probable situations including independent guesses should be expressed by means of valid probability propositions. Conditional structures may be used for expression of the propositions as follows: “If the chosen field be assessed is from an actual landslide region, what is the probability of the future landslide occurrence for this field $P(A|L)$?”. “If the chosen field is not from an actual landslide area, what is the probability of the future landslide occurrence for it $P(A|\text{not}L)$?”. “If the chosen field is from actual landslide region, what is the probability of non-occurrence of the landslide for this field $P(\text{not}A|L)$?”. These probabilities may be evaluated with the probability axioms and the posterior probabilities required for the final decision may be computed with Bayesian theorem. The positive guesses which strongly expects a landslide for the future may be expressed by a positive weight factor and the negative guesses by a negative weight factor. This approach is called the “weights of evidence” model. The landslide susceptibility map presented in the paper has been developed with the mentioned methods. The geological formation of the region, altitude, slope, aspect, curvature (plan and profile curvature), soil depth, topographic wetness index, land cover, road and stream distance parameters have been considered in the landslide susceptibility evaluation. The susceptibility map has been classified into 5 risky areas: the “non-susceptible, low, moderate, high and very high susceptible” areas. The landslide inventory map and the landslide susceptibility map have been compared to each other, in order to test the reliability of the produced landslide susceptibility map. As a result, it has been ascertained that the produced landslide susceptibility map is consistent with the control landslides with 94.56% percentage in total.

Keywords: GIS, landslide, bayesian theorem, susceptibility map, Artvin.

1. GİRİŞ

Dünya’da en sık görülen doğal afetlerden biri de heyelanlardır. Heyelan, bir yamacı oluşturan doğal kaya, toprak veya yapay dolgu malzemenin ya da bunların kombinasyonundan oluşan malzemelerin aşağı ya da dışa doğru hareket etmesi ve yer değiştirmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Varnes, 1958). Heyelanlar, çoğu zaman, can kaybı, ekonomik zararlar, kültürel ve doğal miras kaybı gibi büyük ölçekli sosyo-ekonomik yıkımlara neden olurlar. Örneğin, 2 Mayıs 2014 tarihinde *Afganistan*’ın kuzeydoğusundaki Badahşan vilayetinde aşırı yağışların neden olduğu heyelan sonucunda 256 kişi yaşamını yitirmiş ve 300 konut hasar görmüştür (IFRC, 2014).

Heyelanlar, Türkiye’de de can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Ülkemizde 1950-2000 yılları arasında meydana gelen doğal afetler incelendiğinde, heyelanların %45’lik oranla en sık gerçekleşen doğal afet olduğunu görmekteyiz (Gökçe vd., 2008). Heyelanların yıkıcı etkisi Ülkemizde kendisini son olarak 26 Ağustos 2010 tarihinde acı bir şekilde göstermiştir. Rize merkeze bağlı Gündoğdu beldesinde sağanak yağışların neden olduğu heyelan sonucunda 13 kişi hayatını kaybetmiştir.

Mülga Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 2008 yılında yayınlanan ve 1950-2000 yılları arasında ülkemizde meydana gelen afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımlarının incelendiği “Afet Bilgileri Envanteri”ne göre Artvin, Türkiye’de doğal afetlerin en sık yaşandığı ilk 10 (on) il arasında yer almaktadır. Yine söz konusu doküman incelendiğinde, Artvin’de meydana gelen 658 doğal afet olayından 471’ini (doğal afetlerin yaklaşık %72’sini) heyelanların oluşturduğu görülmektedir. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yönetilen Türkiye Ulusal Afet Arşivi verileri incelendiğinde ise Artvin’de afet niteliği taşıyan 57 heyelan olayının meydana geldiği, 5 kişinin yaşamını yitirdiği ve 6757 kişinin de etkilendiği görülmektedir. Heyelanların ülkemizde can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerin başında geldiği gerçeği ve Artvin’in mevcut heyelan potansiyeli dikkate alındığında, olası can kayıplarının önüne geçmek için Artvin ilinde nüfusun yaklaşık %20’sinin yaşadığı Merkez ilçenin heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi kaçınılmaz olmuştur.

Heyelanların sebep olduğu sosyal ve ekonomik kayıplar etkili bir planlama ve yönetimle azaltılabilmektedir. Bunun için, yerleşim alanlarının seçimi, alt yapı çalışmaları ve diğer mühendislik yapılarının inşasında jeolojik ve jeoteknik amaçlı arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılarak, değişik bilgileri içeren farklı türde haritalar hazırlanmaktadır. Bu çerçevede hazırlanan jeolojik tabanlı en önemli haritalardan birisi de heyelan duyarlılık haritalarıdır (Yalçın, 2007a). Heyelan duyarlılık haritaları, gelecekte olabilecek heyelanlara karşı duyarlı alanları ortaya koyarlar ve herhangi bir alanın heyelan oluşumuna karşı eğilimini ifade ederler (Dağdelenler, 2013).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntem ve parametrelerin değerlendirildiği çalışmalarda (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Dağ vd., 2011), bölgesel özelliklerden dolayı araştırmacıların heyelan duyarlılık analizlerinde farklı parametreler kullanmasına rağmen eğim, bakı, litoloji ve arazi örtüsünün sıkça kullanılan parametrelerden olduğu dile getirilmiştir. Parametre seçiminde, bölgesel özelliklerin yanı sıra kullanılacak parametre ile ilgili veri setinin temin edilip edilemediğinin de etkili olduğu bilinen bir gerçektir. Bu çalışmada yükseklik, eğim, bakı, eğrilik (plan ve profil eğrilikleri), litoloji, arazi örtüsü, topoğrafik nemlilik indeksi, toprak derinliği, yola ve akarsuya yakınlık parametreleri kullanılmıştır.

Literatürde, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması sırasında kullanılan yöntemler ve parametreler konusunda araştırmacılar arasında henüz bir görüş birliğinin oluşmadığı ve her araştırmacının çalıştığı sahaya ilişkin parametreleri dikkate alması nedeniyle çok sayıda parametre ve yöntemin kullanıldığı dile getirilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Dağ vd., 2011). Dağ vd. (2011), özellikle son 20 yıllık döneme ait literatürde ulaşılabilen 118 adet çalışmayı incelemiş ve heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında, çoğunlukla istatistiksel yöntemlerin kullanıldığına ve bu yöntemlerle hazırlanan haritaların oranının %64 olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu çalışmada da, literatürde yaygın olarak kullanılıyor olması, anlaşılır bir istatistik modeline sahip olması, doğru sonuçlar sağlaması ve uygulamasının kolay olması nedeniyle bayes olasılık modeli kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma, Artvin ilinin Merkez ilçesinde gerçekleştirilmiştir. 40° 54’ 57” – 41° 21’ 31” kuzey enlemleri ile 41° 30’ 51” – 42° 10’ 31” doğu boylamları arasında kalan ilçe 114861.86 ha’lık bir alana sahiptir (Yavuz Özalp vd., 2013). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre Artvin’in 2013 yılı toplam nüfusu 169334 tür. Çalışma alanını oluşturan Merkez ilçenin 2013 yılı toplam nüfusu 33415’dir. Nüfusun 25192’si ilçe merkezinde, 8223’ü ise belde ve köylerde ikamet etmektedir (TÜİK, 2014). Meteoroloji Genel Müdürlüğü uzun yıllar (1960–2012) rasat verilerine göre, il genelinde aylık toplam yağış miktarı ortalaması 59.075 kg/m² ve ortalama sıcaklık 12.15 °C’dir. İl genelinde ortalama en düşük sıcaklık -0.5 °C ile Ocak ayında, ortalama en yüksek sıcaklık ise 25.8 °C ile Ağustos ayında görülmektedir (Yavuz Özalp vd., 2013).

2.2. Çalışma Alanının Jeolojisi

MTA Genel Müdürlüğünde temin edilen 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasına göre çalışma alanında 20 farklı litolojik birim belirlenmiştir. Yılmaz vd. (1998) tarafından tanımlanan litolojik birimler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Kabaköy Formasyonu (Tek): Kabaköy formasyonu, kırmızı bir çimento matriksi ile tutturulmuş iri çakıllı konglomera seviyesi ile başlar. Çakıllar çoğunlukla bazalt, dasit ve granitten oluşur. Konglomera seviyesinin üzerine kumtaşı ve bol nummilitli kireçtaşları gelir.

Erenler Formasyonu (Tee): Formasyon çamurtaşı, kilitaşı, kumtaşı araldanması ve olistostromal çökellerden oluşur.

Kızılık Formasyonu (Tpekı): Formasyon yeşilimsi ve gri renkli, orta-ince tabakalı karasal kırıntılı kayaçlar, kumtaşı ve marnlardan oluşmuştur. Alt seviyelerde kumtaşı ve konglomeralardan oluşan regresif bir sekans izlemektedir.

Bakırköy Formasyonu (Tbep): Formasyon genellikle killi kireçtaşı, marn, şeyl ve az oranda da kumtaşlarından oluşmuştur.

Kaçkar Granitoidleri (Kk1): Kaçkar granitoidleri farklı mağmasal evrelerde Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı volkano-tortul istiflere sokulum yapmıştır. Liyas volkanitleri (Hamurkesen formasyonu) ile Üst Kretase volkanitlerinin (Çatak formasyonu) içine sokulum yapan granitoidler Kaçkar Granitoidi I, Eosen volkanitlerinin (Kabaköy formasyonu) içine sokulum yapan granitoidler ise Kaçkar Granitoidi II olarak adlandırılmaktadır

Ağullar Formasyonu (KTa): Birim gri-beyaz renkli kumlu ve resifal kireçtaşlarından oluşur. Bakırköy formasyonu ile aynı stratigrafik konumda yer alır.

Ziyarettepe Formasyonu (Ktz): Formasyon resifal kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, hemipelajik kireçtaşı ve konglemeradan oluşur.

Cankurtaran Formasyonu (KTe): Formasyon kumlu kireçtaşı, mikritik kireçtaşı ve kırıntılı kayaçlardan oluşmuştur.

Çayırbağ Formasyonu (Kçb): Bu birim fazla yaygın olmayan riolit ve riyodasitik karakterli lav ve proklastlarından meydana gelmiştir. Lavlarda prizmatik kolan yapıları ve akışkan (flüvdal) yapılar görülür.

Çağlayan Formasyonu (Kça): Formasyon genellikle gri-yeşil renkli andezit, bazalt, bazalt lav ve piroklastları ile birlikte ara tabakalı olarak bulunan kırmızı-bordo renkli çamurtaşı, gri renkli marn ve kumtaşlarından oluşur.

Kızılkaya Formasyonu (Kk): Formasyon gri beyaz renkli riyoasitik-dasitik karakterli lav ve piroklastlarından oluşur.

Çatak Formasyonu (Kç): Çatak formasyonu gri-yeşil renkli andezit, andezitik bazalt lav ve piroklastları ile ara tabakalı bulunan kırmızı-bordo renkli çamurtaşı silttaşı, gri renkli marn ve kumtaşlarından oluşur.

Berdiga Formasyonu (JKb): Formasyon gri- beyaz ve krem renkli resifal kireçtaşları, orta kalınlıkta tabakalanmalı killi kireçtaşı ve sileks yumrulu kireçtaşlarından oluşur.

Madenler Formasyonu (Jm): Birim çeşitli kalınlıklarda (0.3-50 m. arasında) resifal kireçtaşı ara tabakalarıyla yer yer bazalt lav ve piroklastları da içeren çoğunlukla kırmızı-mor renkli konglomera ve kumtaşlarından oluşur.

Hamurkesen Formasyonu (Jh): Formasyon bazalt-andezit lav ve piroklastlarının kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı, radyolarit ve şeyl ara tabakalarıyla birlikte araldanmasından oluşur.

Artvin Granitoidi (Pza): Çoğunlukla holokristalen dokulu ve dinamik etkiler sonucu yer yer hafif yönlü bir yapı kazanan, genelde granodiyoritik bileşimli magmatik kayalar Artvin granitoidi olarak tanımlanmıştır (Konak ve Hakyemez, 2009).

Alüvyon (Qal): Günümüz akarsu yataklarında dolgularan çakıl, blok, kum, silt, kil gibi çok çeşitli boyutlarda tutturulmamış çökeltilerdir. Çoruh Nehri ile Oltu, Tortum ve Barhal çayları boyunca en yaygın örneklerini sunar (Konak ve Hakyemez, 2009).

2.3. Verilerin Temini ve Hazırlanması

Bu çalışmada yükseklik, eğim, bakı, eğrilik, litoloji, arazi örtüsü, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), toprak derinliği, yola ve akarsuya yakınlık parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelerin heyelan oluşumu üzerindeki etkileri, parametrelerle ilgili konumsal verilerin hangi kurumlardan temin edildiği veya hangi veri setinden nasıl üretilerek uygulamada kullanıldığı aşağıdaki parağraflarda açıklanmıştır.

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin ilk adımı, geçmişte meydana gelen heyelanlar hakkında bilgi edinmektir. Çünkü gelecekteki heyelanların şimdiki ve geçmişte olmuş heyelanlarla benzer şartlar altında gerçekleşebileceği varsayılmaktadır (Yalçın, 2007a; Erener ve Düzgün, 2007; Kumtepe vd., 2009). Bu nedenle, heyelan duyarlılık çalışmalarında ihtiyaç duyulan en önemli verilerin başında, “*heyelan envanter haritaları*” gelmektedir. Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelan alanlarının gösterildiği haritalardır (Çevik ve Topal, 2003; Yalçın 2007a). Bu çalışmada, MTA tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli sayısal heyelan envanter haritaları kullanılmıştır.

Litoloji, heyelan oluşumunu etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir (Kumtepe vd., 2009) ve heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli rol oynar. Çünkü farklı litolojik birimler, heyelanlar gibi aktif jeomorfolojik süreçler için farklı duyarlılıklara sahiptir. Jeomorfolojik süreçler, kısmen litolojiye ve litolojiyi oluşturan temel malzemelerin ayrışma özelliklerine bağlıdır (Dai vd., 2001, Çevik ve Topal 2003). Çalışma alanındaki litolojik birimler, MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1/100.000 ölçekli jeoloji haritalarından elde edilmiştir.

Heyelan duyarlılık analizlerinin en önemli bileşeni eğim açısidir (Lee ve Min, 2001; Dai vd., 2001). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik birçok çalışmada eğim açısının öncelikli olarak dikkate alındığı görülmektedir (Yalçın, 2008; Yılmaz, 2009; Erener ve Düzgün, 2010, Akıncı vd., 2010). Daha önceki çalışmalar ve arazi gözlemleri eğimin artmasıyla heyelana karşı duyarlılığın arttığını göstermektedir (Yalçın, 2007a). Bu nedenle, ArcGIS 10.0 CBS yazılımında eşyükseklik eğrileri kullanılarak çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. Üretilen SYM, 10m x 10m hücre boyutlu ESRI GRID formatına dönüştürülmüş ve çalışma alanının eğim haritası üretilmiştir. 5° aralıklarla yeniden sınıflandırılan eğim haritası, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak her bir eğim grubuna karşılık gelen heyelanların yüzde olarak dağılımları tespit edilmiştir (Çizelge 1). Çalışma alanındaki maksimum eğimin 89 derece olduğu ve eğim değerlerine göre en fazla heyelanın %21,78’lik oranla 15-20° eğim grubunda meydana geldiği tespit edilmiştir.

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında eğim gibi bakı da önemli faktörlerdendir (Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu vd., 2004). Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında, incelenen alanın morfolojik yapısının, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığını alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, topoğrafik eğim ile zeminin türü, geçirimsizliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak, hakim bakıya sahip yamaçlardaki malzeme diğer yamaçlara göre daha çabuk doygunluğa ulaşır. Buna bağlı olarak bu yamaçlarda boşluk suyu basıncının gelişmesine neden olur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Çalışmada bakı ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla SYM’den çalışma alanının bakı haritası üretilmiştir. Bakı haritası, dokuz sınıfa ayrılmış ve her bir bakı grubundaki heyelan varlığı yüzdesi hesaplanmıştır (Çizelge 1). Buna göre çalışma alanındaki heyelanların %18,02’sinin kuzey, %17,72’sinin kuzeydoğu ve %15,21’inin doğu bakıya sahip yamaçlarda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir diğer parametrede yüksekliktir (Çevik ve Topal, 2003; Ercanoğlu vd., 2004). Çalışma alanındaki heyelan-yükseklik ilişkisini tespit etmek amacıyla SYM kullanılarak alanın yükseklik haritası üretilmiştir. Çalışma alanında yükseklikler 125–3195 m arasında değişmektedir. Yükseklik değerleri 250m aralıklarla 9 kategoriye ayrılmış ve heyelan-yükseklik ilişkisi tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki heyelanların, en çok %21,88’lik oranla 1250-1500 m yükseklik değerlerine sahip alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir (Çizelge 1).

Eğrilik değerleri topoğrafyanın morfolojik yapısını göstermektedir (Lee ve Min, 2001; Erener ve Düzgün, 2010). Eğrilik haritaları, SYM’nin ikinci türevi olarak elde edilirler diğer bir deyişle, eğimdeki değişimi gösterirler (Erener ve Düzgün, 2010). Pozitif eğrilik, bir hücrede yüzeyin yukarıya doğru dışbükey olduğunu, negatif eğrilik ise yüzeyin o hücrede yukarı doğru içbükey, sıfır değeri ise yüzeyin düz olduğunu temsil eder. Plan eğrililiği topoğrafik konverjans (akışın toplandığı) ve diverjans (akışın dağıldığı) alanlarını ortaya koyarak yüzeyde akış halindeki suyun hangi noktalarda birleşeceği yönündeki eğilimi ifade eder. Negatif değerli plan eğrililiği akışın toplandığını, pozitif değerler dağıldığını belirtir. Bu değerlerden akarsu ve sırtlar çıkarılabilir. Profil eğrililiği ise suyun yüzeydeki akış hızı ve sedimentlerin yamaç boyunca taşınımı ve böylece gelişen erozyonu, eğim değişim oranını ifade ederek ortaya koyar. Profil bileşeni negatif ise konkav-içbükey (çukur), pozitif değerler ise konveks-dışbükey (tepe) yapıyı gösterir (Kılıç ve Gökaşan, 2009). Çalışma alanının plan ve profil eğrililiği haritaları SYM’den üretilmiştir.

Çizelge 1. Heyelanı etkileyen parametrelerden bir kısmının frekans oranları ve bayes ağırlıkları

Parametre	Alt Kategori	Kategorideki Hücre Sayısı	Heyelanlı Hücre Sayısı	HVY (%)	AKY (%)	Frekans Oranı	W+	W-	C
Yükseklik	125-250	136264	1320	0.96	1.19	0.812	-0.2106	0.0023	-0.2129
	250-500	612915	6307	4.60	5.34	0.862	-0.1496	0.0078	-0.1574
	500-750	971470	17107	12.48	8.46	1.476	0.3950	-0.0455	0.4405
	750-1000	1330254	21385	15.60	11.58	1.347	0.3024	-0.0471	0.3495
	1000-1250	1613535	22350	16.31	14.05	1.161	0.1512	-0.0270	0.1782
	1250-1500	1832425	29984	21.88	15.95	1.371	0.3204	-0.0740	0.3943
	1500-1750	1740337	15128	11.04	15.15	0.729	-0.3200	0.0479	-0.3679
	1750-2000	1313878	1685	1.23	11.44	0.107	-2.2411	0.1105	-2.3516
	>2000	1935029	21776	15.89	16.85	0.943	-0.0591	0.0116	-0.0707
Eğim	0-5	146606	3305	2.41	1.28	1.889	0.6471	-0.0117	0.6588
	5-10	170422	9728	7.10	1.48	4.784	1.6121	-0.0594	1.6715
	10-15	398438	24599	17.95	3.47	5.175	1.6955	-0.1643	1.8598
	15-20	714533	29852	21.78	6.22	3.502	1.2839	-0.1835	1.4674
	20-25	1184574	24688	18.01	10.31	1.747	0.5668	-0.0908	0.6577
	25-30	1875743	18604	13.58	16.33	0.831	-0.1868	0.0328	-0.2196
	30-35	2523592	13829	10.09	21.97	0.459	-0.7846	0.1436	-0.9281
	35-40	2361946	8263	6.03	20.56	0.293	-1.2353	0.1702	-1.4056
	40-45	1346158	3025	2.21	11.72	0.188	-1.6792	0.1036	-1.7829
	> 45	764095	1149	0.84	6.65	0.126	-2.0817	0.0612	-2.1429
Bakı	Düz	76257	374	0.27	0.66	0.411	-0.8961	0.0040	-0.9001
	Kuzey	1328075	24698	18.02	11.56	1.559	0.4506	-0.0767	0.5273
	Kuzeydoğu	1377366	24284	17.72	11.99	1.478	0.3963	-0.0681	0.4644
	Doğu	1551431	20844	15.21	13.51	1.126	0.1203	-0.0201	0.1404
	Güneydoğu	1542327	16125	11.77	13.43	0.876	-0.1336	0.0192	-0.1528
	Güney	1506585	10610	7.74	13.12	0.590	-0.5321	0.0608	-0.5929
	Güneybatı	1352142	10014	7.31	11.77	0.621	-0.4814	0.0500	-0.5314
	Batı	1419741	13996	10.21	12.36	0.826	-0.1929	0.0245	-0.2175
	Kuzeybatı	1332183	16097	11.75	11.60	1.013	0.0128	-0.0017	0.0145
Plan Eğriliği	<0	5419229	70062	51.12	47.18	1.084	0.0813	-0.0785	0.1598
	0	161339	1914	1.40	1.40	0.994	-0.0058	0.0001	-0.0059
	>0	5905539	65066	47.48	51.41	0.923	-0.0806	0.0789	-0.1594
Profil Eğriliği	<0	5734102	65289	47.64	49.92	0.954	-0.0473	0.0451	-0.0924
	0	105841	970	0.71	0.92	0.768	-0.2666	0.0022	-0.2688
	>0	5646164	70783	51.65	49.16	1.051	0.0501	-0.0509	0.1010
TWi	0.01-5	415078	1121	0.82	3.61	0.226	-1.4949	0.0289	-1.5239
	5-10	10389035	118859	86.73	90.45	0.959	-0.0425	0.3334	-0.3759
	10-15	579791	15923	11.62	5.05	2.302	0.8495	-0.0726	0.9221
	15-20	89489	1093	0.80	0.78	1.024	0.0237	-0.0002	0.0239
	20-25	10532	42	0.03	0.09	0.334	-1.1039	0.0006	-1.1045
	25-29	2182	4	0.00	0.02	0.154	-1.8833	0.0002	0.0000

Yamaçların stabilitesini kontrol eden parametrelerin en önemlilerinden birisi de yamaçlardaki malzemenin doygunluk derecesidir. Yamaçların drenaj ağlarına yakınlığı da stabilite açısından önemli diğer bir faktördür. Akarsular, yamaç ya da şevleri ya topuktan aşındırma şeklinde ya da yamaçları oluşturan malzemenin akarsu

seviyesine kadar olan kısmını suya doyurma veya her iki şekilde de etkileyerek stabiliteyi bozmaktadır (Yalçın, 2008). Çalışma alanında devamlı akış gösteren akarsular, 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan sayısallaştırılarak CBS veritabanına aktarılmış ve ilgili CBS analiz rutinleri kullanılarak akarsulara ait yakınlık haritası üretilmiştir.

Akarsulara yakınlık gibi yol ve yolun etkilediği yamaçlarda da stabilite problemleri görülmektedir (Yalçın, 2008). Yamaçlarda açılan yollar hem topoğrafyada hem de yamaç topuğunda yük azalmasına neden olmaktadır. Topoğrafyanın değişmesi ve yük azalması yamaç gerisinde gerilme artışlarına sebep olmakta ve bu gerilme çatlaklarının gelişmesine neden olmaktadır. Yol açılmadan önce dengede olan yamaçta, daha sonra dışarıdan gelebilecek su girişi gibi negatif etkilerle duraysızlıklar meydana gelmektedir. Çalışma alanındaki yol ağı, navigasyon cihazları için güncel yol verilerini toplayan Başarsoft firmasından sayısal olarak temin edilmiştir.

Arazi örtüsü, yamaçların stabilite halinde olduğunun dolaylı bir ifadesidir. Kıraç ve nadir arazi örtüsü ile kaplı alanlar daha hızlı erozyon ve ormanlara göre daha büyük duraysızlıklar göstermektedir. Bazı araştırmalarda (Yalçın 2007b) yamaç duyarlılığında arazi örtüsünün çok önemli yer tuttuğu ortaya konulmuştur. Bu nedenle çalışmada, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan temin edilen CORINE2006 arazi örtüsü verisi kullanılmıştır.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan parametrelerden biride toprak derinliğidir (Blesius ve Weirich, 2009; Sharma vd., 2009). Toprak derinliği heyelan oluşumuna genel olarak iki şekilde etki etmektedir. Birincisi, toprak derinliğine bağlı olarak ana kaya üzerindeki materyalin kütlesi ve dolayısıyla ağırlığı artmaktadır. Bu nedenle, toprak derinliği fazla olan eğimli alanlar, yer çekiminin de etkisiyle, heyelana karşı daha duyarlıdır. Toprak derinliğinin heyelanlar üzerindeki diğer etkisi ise üst toprak materyalinin nem tutma özelliğine dayanmaktadır. Sığ toprak tabakalarına sahip eğimli araziler, yüzeysel akış nedeniyle, erozyona daha duyarlı iken derin toprak tabakasına sahip araziler heyelana daha duyarlı olmaktadır. Bu çalışmada, TRGM'den temin edilen sayısal toprak haritaları kullanılarak çalışma alanının toprak derinlik haritası üretilmiştir.

Bir sahadaki jeolojik malzemenin doygunluğuna ilişkin yorumlarda kullanılan göstergelerden birisi "topoğrafik nemlilik indeksi"dir. Topoğrafik nemlilik indeksi çalışılan bölgenin suya doygunluğunu alansal ölçüde boyutlandırmaktadır. Suyun malzeme içerisine süzülmesi, hem malzeme içerisinde gözenek suyu basınçlarının artmasına hem de malzemenin dayanımının azalmasına neden olmaktadır (Gökçeoğlu vd., 2005). Bu nedenle, SYM kullanılarak çalışma alanındaki akış yönü ve akış yoğunluğu hesaplanmış ve sahanın bağlı topoğrafik nemlilik indeksi haritası oluşturulmuştur.

2.4. Bayes Olasılık Teoremi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Bayes teoremi, bir olayın gerçekleşme olasılığı ile ilgili öncül olasılık beklentilerinin, olayın gerçekleşmesi durumunda elde edilen yeni bilgilerle güncelleştirilerek, soncul olasılıkların bulunmasını sağlayan bir olasılık teoremidir. Buna göre, bir bölgede heyelan riskinin tahmin edilmesi istendiğinde, bazı olası durumların belirlenmesi gerekir. Bunun için, seçilen bir çalışma alanında heyelan olayıyla ilgili şu durumların var olabileceği açıktır. Seçilen alan gerçekten heyelan alanı olabilir ve bu alanla ilgili iki tahmin yapılabilir. Gelecekte burada tekrar heyelan olacağı ya da olmayacağı söylenebilir. Seçilen alan, gerçekte heyelan alanı olmayabilir ve bu alan için de gelecekle ilgili iki tahmin söz konusudur (Doğan vd., 2012).

Bu durumları olasılık önermeleri şeklinde ifade etmek için koşullar kullanılır. Seçilen alanın, geçmiş deneyimlere göre heyelan alanı olması durumunda, gelecekte de heyelan olma olasılığı $P(A|H)$ nedir? Seçilen alanın geçmiş deneyimlere göre heyelan alanı olmaması durumunda, gelecekte heyelan olma olasılığı $P(A|\text{not}H)$ nedir? Seçilen alanın geçmiş deneyimlere göre heyelan alanı olması durumunda, gelecekte heyelan olmama olasılığı $P(\text{not}A|H)$ ve benzer şekilde $P(\text{not}A|\text{not}H)$ olasılıklarının sonuç kararda etkili olması gerektiği açıktır. Bu olasılıkları, olasılık aksiyomlarına uygun olarak birlikte değerlendirerek soncul olasılık değerleri Bayes Teoremi ile hesaplanabilmektedir. Seçilen alanın gelecekte heyelanla karşılaşacağını öngören tahminler pozitif bir ağırlıkla, tersi ise negatif bir ağırlıkla ifade edilir. Bu yaklaşıma "weights of evidence (WoE)" model adı verilir (Doğan vd., 2012).

WoE modeli, Van Westen vd. (2003) ile Regmi vd. (2010) tarafından matematiksel olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada, heyelanı etkileyen faktörlerin alt kategorilerinin ağırlıklarını hesaplamak için Regmi vd. (2010) tarafından önerilen, Özdemir ve Altural (2013) tarafından da kullanılan aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$W^+ = \ln \left[\frac{\frac{A1}{A1+A2}}{\frac{A3}{A3+A4}} \right] \quad (1)$$

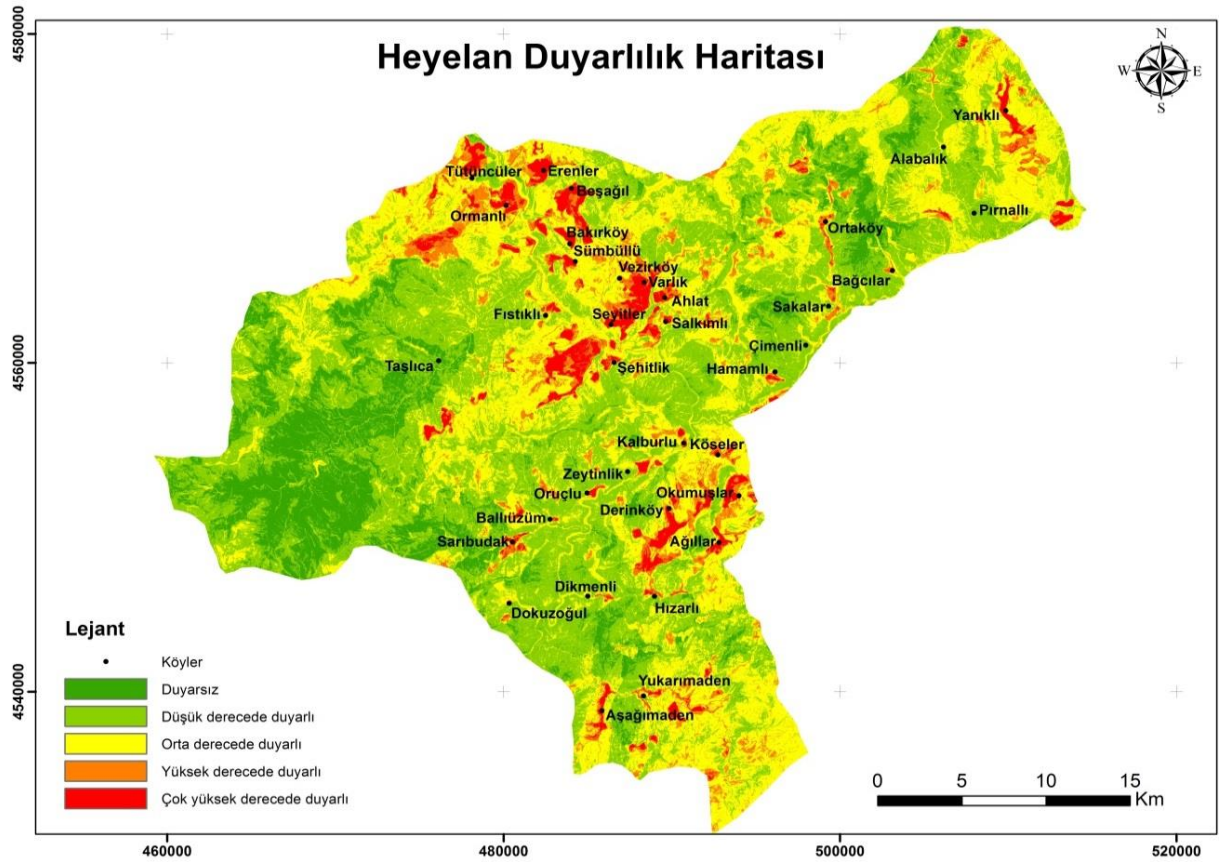
$$W^- = \ln \left[\frac{\frac{A2}{A1+A2}}{\frac{A4}{A3+A4}} \right] \quad (2)$$

$$C = W^+ - W^- \quad (3)$$

Bu formüllerde, $A1$ seçilen bir alt kategorideki heyelanlı hücre sayısını, $A2$ seçilen kategori dışındaki toplam heyelanlı hücre sayısını, $A3$ seçilen kategorideki heyelansız hücre sayısını ve $A4$ seçilen kategori dışındaki toplam heyelansız hücre sayısını ifade etmektedir. Dolayısı ile $(A1+A2)$ çalışma alanındaki toplam heyelanlı hücre sayısını, $(A3+A4)$ ise çalışma alanındaki toplam heyelansız hücre sayısını ifade etmektedir.

W^+ ve W^- ağırlıkları arasındaki fark ağırlıklar kontrastı (C) olarak adlandırılır ve heyelan olayı ile tahmin değişkeni arasındaki nihai konumsal ilişkiyi gösterir. Sıfıra eşit bir kontrast değeri heyelana neden olan faktörün alt kategorisinin analiz için önemli olmadığını gösterir. Pozitif kontrast pozitif bir konumsal ilişkiyi, negatif kontrast ise tersini ifade etmektedir (Özdemir ve Altural, 2013).

Çalışma alanında heyelanı etkileyen faktörlerin alt kategorilerine ait W^+ ve W^- ağırlıkları ile C kontrastları yukarıdaki formüller kullanılarak hesaplanmış (Çizelge 1) ve bu ağırlıklar kullanılarak Şekil 1’de gösterilen heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.



Şekil 1. Bayes olasılık modeli kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası

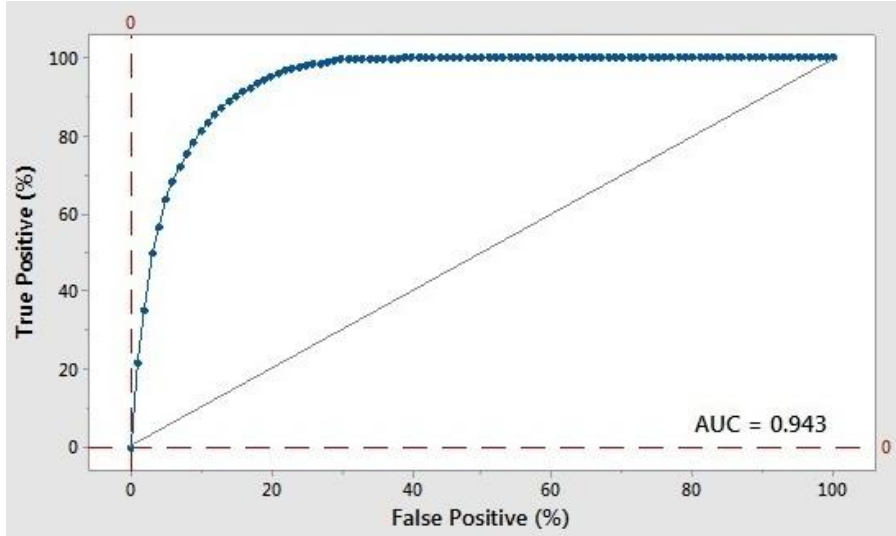
2.5. Heyelan Duyarlılık Haritasının Doğruluk Değerlendirmesi

Üretilen heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için öncelikli olarak “doğru sınıflandırma yaklaşımı” kullanılmıştır. Doğru sınıflandırma yaklaşımı, kontrol veri setindeki heyelanlı alanların üretilen heyelan duyarlılık haritalarında yüzde kaç doğrulukla tahmin edildiğini göstermektedir. Bu amaçla, envanter haritasında yer alan ve kontrol amacıyla analizlere dahil edilmeyen heyelanlar ile duyarlılık haritaları karşılaştırılmış ve heyelanlı alanların duyarlılık sınıflarına göre dağılımları belirlenmiştir. Kontrol heyelanlarının %26,87’sinin çok yüksek derecede, %33,03’ünün yüksek derecede ve %34,67’sinin orta derecede (toplamda %94,56), %5,44’ünün ise düşük derecede duyarlı bölgede kaldığı tespit edilmiştir.

Üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluk değerlendirilmesi amacıyla “ROC Eğrisi Altındaki Alan” (AUC: Area Under Curve) yaklaşımı da kullanılmıştır. ROC eğrisi, farklı eşik değerleri için dikey eksen üzerinde doğru pozitiflik (duyarlılık) ve yatay eksen üzerinde yanlış pozitiflik (1-belirlilik) oranlarının yer aldığı bir eğridir (Dağdelenler, 2013). Eğri Altındaki Alan (EAA) ise, bir olayın meydana gelme ya da gelmeme durumunu güvenli bir biçimde tahmin etme yeteneğini tanımlayarak oluşturulan modelin kalitesini ifade etmektedir. EAA değerinin 1’e

yakın olması modelin doğruluğunun yüksek, 0.5'e yakın olması ise modelin doğruluğunun oldukça düşük olduğunu göstermektedir (Akgün ve Türk, 2010).

Çalışmada İdrisi Selva Yazılımının ROC modülü kullanılarak kontrol veri seti ile ROC analizi yapılmış ve Minitab 17 yazılımı kullanılarak ROC eğrisi çizdirilmiştir (Şekil 2). ROC eğrisinin altındaki alan bayes olasılık modeli kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası için 0.943 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Bayes olasılık modeli ile üretilen heyelan duyarlılık haritası için ROC eğrisi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kütle hareketlerini oluşturan etkenler genel olarak, zemin koşulları, jeomorfolojik süreçler, fiziksel süreçler ve insan etkileri olmak üzere 4 grupta toplanmaktadır. Yapılan değerlendirmelerde, Artvin ili Merkez ilçedeki kütle hareketlerinin zemin koşullarından ve insan etkilerinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan faktörler (ve alt kategoriler) ile heyelan envanter haritasında yer alan heyelan alanları arasındaki ilişki incelendiğinde heyelanların, litojik birimin özelliği gereği, %49.43 oranla çağlayan formasyonu ve %26.89 oranla kızkaya formasyonunu içeren sahalarda meydana geldiği görülmektedir. Üst kretase yaşlı bu iki formasyondaki heyelanlar, çalışma alanındaki toplam heyelanlı alanların % 76.32'sini oluşturmaktadır. Gökçe vd. (2008), bu bulguyu destekleyen tespitlerde bulunmuşlardır. Gökçe vd. (2008), Doğu Karadeniz'de kretase ve eosen volkaniklerinin heyelanların oluşumu için kaynak alanlar oluşturduğunu ve heyelanların Doğu Karadeniz'de Pontid Volkanizması sonucu oluşmuş eosen ve kretase volkanik kayaçlarının yaygın olarak gözlemlendiği alanlarda daha çok akma türünde gözlemlendiğini dile getirmişlerdir.

Çalışma alanındaki heyelanların insan etkilerinden kaynaklandığını gösteren en önemli bulgu ise arazi örtüsü-heyelan ilişkisi incelendiğinde ortaya çıkmaktadır. CORINE 2006 arazi örtüsü verilerine göre Merkez ilçedeki heyelanların %47.89'unun tarımsal alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Yamaçlarda teraslaşmanın ardından bitki örtüsünün kaldırılması, araziye ekime hazır hale getirmek için bitki örtüsünün yakılması, ormansızlaştırma ve tarımsal amaçlar için toprağın sürekli sulanması gibi uygun olmayan faaliyetlerin heyelanlara neden olan insan faaliyetleri arasında yer aldığı literatürde de dile getirilmektedir (Weerasinghe vd. 2008; Gurung vd. 2013).

4. SONUÇLAR

Bu proje, Artvin ili Merkez ilçesinin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik çalışmaları içermektedir. Çalışmada bayes olasılık modeli kullanılarak alanın heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Uygulamada, heyelanı etkileyen 11 farklı faktör dikkate alınmıştır. Üretilen duyarlılık haritaları, “duyarsız, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek derecede duyarlı” alanlar olmak üzere 5 şekilde sınıflandırılmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliğini test etmek için heyelan envanter haritasında yer alan ve kontrol amacıyla analizlere dahil edilmeyen kontrol heyelanları ile heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırılmış ve heyelan alanlarının duyarlılık sınıflarına göre dağılımları yüzde olarak belirlenmiştir. Bayes olasılık modeline göre üretilen duyarlılık haritası için yapılan değerlendirmelerde kontrol heyelanlarının %26,87'sinin çok yüksek derecede, %33,03'ünün yüksek derecede ve %34,67'sinin ise orta derecede duyarlı bölgede kaldığı (toplamda %94,56) tespit edilmiştir. Heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında kullanılan yöntemlerin (modellerin) performans değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan doğrulama yöntemlerinden biri de “Eğri Altındaki Alan” (Area Under Curve: ROC eğrisinin altında kalan

alan) yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre ideal bir model, ROC eğrisi altında kalan alan değerinin 1'e yakın olduğu durumu gösterir. Buna göre ROC eğrisi altında kalan alan bayes olasılık modeli için 0.943 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, Artvin Kent Merkezi ile birlikte Merkeze bağlı toplam 36 köyden 7'sinin (Aşağımaden, Bakırköy, Erenler, Ormanlı, Salkımlı, Sarıbudak, Varlık) çok yüksek derecede ve 10'unun da (Ağıllar, Ahlat, Beşağıl, Derinköy, Kalburlu, Köşeler, Okumuşlar, Ortaköy, Seyitler, Sümbüllü) yüksek derecede heyelana duyarlı alanda yer aldığı tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (AÇÜBAP) tarafından 2012.F40.02.31 nolu bilimsel araştırma projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Akıncı, H., Doğan, S., Kılıçoğlu, C., Keçeci, S.B., 2010. Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(3), 13-27.

Akgün, A., Türk, N., 2010. İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık Modellerinin Karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34(2), 85-112.

Blesius, L., Weirich, F., 2009. The Use of High-Resolution Satellite Imagery For Deriving Geotechnical Parameters Applied to Landslide Susceptibility, *ISPRS Hannover Workshop 2009 High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*, June 2-5, Hannover, Germany

Çevik, E., Topal, T., 2003. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey), *Environmental Geology*, 44, 949-962.

Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S., Kaya, A., 2011. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Yöntem ve Parametrelere İlişkin Genel Bir Değerlendirme, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 151-176.

Dağdelenler, G., 2013. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örneklem ve Doğrulama Stratejilerinin Değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın Doğu Kesimi), *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Ankara.

Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong, *Environmental Geology*, 40(3), 381-391.

Doğan, S., Akıncı, H., Kılıçoğlu, C., 2012. Bayes Olasılık Teoremi Kullanılarak Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, 65. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 2-6 Nisan, Ankara.

Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., Van Asch, Th.W.J., 2004. Landslide Susceptibility Zoning North of Yenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques, *Natural Hazards*, 32: 1-23.

Erener, A., Düzgün, H.S.B., 2007. Heyelan Analizlerinde Coğrafi Ağırlıklandırılmış Regresyon (CAR) Metodu, 11. Türkiye Bilimsel Harita ve Teknik Kurultayı, 02-06 Nisan, Ankara.

Erener, A., Düzgün, H.S.B., 2010. Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway), *Landslides*, 7(1), 55-68.

Gökçe, O., Özden, S., Demir, A., 2008. Türkiye'de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Ankara.

Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 23, 189-206.

Gökçeoğlu, C., Duman, T.Y., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H.A., 2005. 17 Mart 2005 Kuzulu (Koyulhisar, Sivas) Heyelanı, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 20, 17-28.

Gurung, A., Gurung, O.P., Karki, R., Oh, S.E., 2013. Improper agricultural practices lead to landslide and mass movement disasters: A case study based on upper Madi watershed, *Nepal. Emir. J. Food Agric.* 25 (1): 30-38

- IFRC**, 2014. Afghanistan: Floods and landslide, Information Bulletin, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC), <http://www.ifrc.org/docs/Appeals/rpts14/IBafgFFLSn2-080514.pdf>, (11.07.2014).
- Kılıç, F., Gökaşan, E.**, 2009. Yeryüzü Şekillerinin SYM ile CBS Ortamında Değerlendirilmesi (Ders Notu), <http://www.yildiz.edu.tr/~fkilic/CBSYeryuzuV4.pdf>, (06.08.2014).
- Konak, N., Hakyemez, H.Y.**, 2009. 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:105, Tortum G47 Paftası, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kumtepe, P., Nurlu, Y., Cengiz, T., Sütçü, E.**, 2009. Bolu Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım, İzmir.
- Lee, S., Min, K.**, 2001. Statistical analyses of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 40(9), 1095–1113.
- Özdemir, A., Altural, T.**, 2013. A Comparative Study of Frequency Ratio, Weights of Evidence and Logistic Regression Methods For Landslide Susceptibility Mapping: Sultan Mountains, SW Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197.
- Regmi, N.R., Giardino, J.R., Vitek, J.D.**, 2010. Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology* 115, 172–187
- Sharma, L.P., Debnath, P., Nilanchal, P., Ghose, M.K.**, 2009. Landslide Vulnerability, *Coordinates*, 5(11), 31-34.
- TÜİK**, 2014. Türkiye İstatistik Kurumu. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) Sonuçları. <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul>. (16.07.2014).
- Weerasinghe, K.M., Malalasekara, A., Dahanayake, K., Perera, S.J.**, 2008. Learning to live with Landslides Natural Hazards and Disasters, Department of Institutional Development, National Institute of Education, Sri Lanka.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., Soeters, R.**, 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide assessment. *Natural Hazards*, 30, 399–419.
- Varnes, D.J.**, 1958. Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., *Landslides and Engineering Practice*, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C., p.20-47.
- Yalçın, A.**, 2007a. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 1-14.
- Yalçın, A.**, 2007b. Environmental impacts of landslides: A case study from East Black Sea region, Turkey. *Environmental Engineering Science*, 24(6), 821-833.
- Yalçın, A.**, 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72(1), 1–12.
- Yavuz Özalp, A., Akıncı, H., Temuçin, S.**, 2013. Artvin İli Arazisinin Topografik ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin Tespiti ve Bu Özelliklerin Arazi Örtüsü ile İlişkisinin İncelenmesi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(2), 292-309.
- Yılmaz, B.S., Gülibrahimoğlu, İ., Yazıcı, E.N., Yaprak, S., Saraloğlu, A., Konak, O., Köse, Z., Çuvalcı, F., Tosun, C.Y.**, 1998. Artvin İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Yılmaz, I.**, 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey), *Computers & Geosciences*, 35(6), 1125-1138.